

Fitorremediación de metales pesados de *Eichhornia crassipes*

Heavy metal phytoremediation of *Eichhornia crassipes*

Issis Paola Alejandra Ramirez Cancino¹, Denisse Marisol Torres Franco¹, Aimee Jimena Alfaro Reyes¹, Francisco Paul Reyes Sánchez¹, Mario Enrique Sandoval Vergara², Guillermo Manuel González Guerra^{1,3}.

¹Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Cerro de la Venada s/n, Guanajuato, Guanajuato, 36040, México.

²Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio de Nivel Medio Superior | me.sandovalvergara@ugto.mx.

³CONAHCyT

Resumen

La fitorremediación es una técnica ampliamente utilizada para la remediación de aguas residuales mediante la absorción de metales pesados. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), aunque es considerado una plaga debido a su rápida reproducción y capacidad de absorber grandes cantidades de agua, ha mostrado un notable potencial para la fitorremediación. En este estudio, se evaluaron las condiciones óptimas para la estabilidad del lirio acuático y su capacidad de remediación de cromo hexavalente (Cr(VI)) a una concentración de 19 ppm durante un período de contacto de 120 horas y 4 horas. Los resultados demostraron que el lirio acuático puede reducir significativamente la concentración de Cr(VI) en periodos cortos, manteniendo condiciones óptimas de pH, temperatura y humedad. Esta investigación sugiere que, con un manejo adecuado, el lirio acuático puede ser una herramienta eficaz para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados.

Palabras clave: cromo hexavalente, fitorremediación, Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

1. Introducción

En los últimos años, la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua ha aumentado de manera alarmante. Ríos, lagos y océanos están cada vez más impactados por la presencia de estos elementos tóxicos [5]. Entre los contaminantes más peligrosos se encuentra el cromo hexavalente Cr(VI), que puede causar graves afectaciones tanto a la salud humana como a los ecosistemas acuáticos [8]. Este compuesto, derivado principalmente de actividades industriales como la fabricación de pigmentos y la producción de acero, es particularmente peligroso debido a su alta solubilidad en agua y su persistencia en el medio ambiente [5].

El Lago de Yuriria, se sitúa a una altitud de 1750 metros y ocupa una superficie de 9 mil 700 hectáreas con una profundidad media de 2.6 m y una capacidad de 325 millones de m³ [3]. Es uno de los cuerpos de agua más importantes de la región del Bajío, es un claro ejemplo de esta problemática. El principal efecto de la actividad humana se observa en la calidad del agua de la laguna, la recolección de aguas residuales sin tratar en el municipio de Yuriria y sus 14 comunidades, además de la llegada de productos químicos de zonas agrícolas de la parte alta y de empresas teñidoras de telas [6]. Esta contaminación no solo amenaza la biodiversidad del lago, sino que también pone en riesgo a las comunidades locales que dependen de sus aguas ya que este provee agua para desarrollar diversas actividades agrícolas, pesqueras y de turismo, además de ser una fuente de alimento importante en la zona [2].

Por otro lado, la fitorremediación es una técnica que utiliza plantas para remover, contener o degradar contaminantes presentes en el suelo y el agua [7]. Una planta que se destaca en este proceso es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). El lirio acuático, originario de América del Sur y actualmente clasificado como una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [4], se ha propagado de manera abundante y descontrolada en el Lago de Yuriria. Esta planta tiene la capacidad de tolerar amplias variaciones en la concentración de nutrientes, la temperatura y el pH, lo que le permite adaptarse y proliferar en diversas condiciones ambientales [4]. Sin embargo, esta capacidad de adaptación y rápida reproducción asexual la convierte en una amenaza

ecológica, ya que forma densos tapetes en la superficie del agua que bloquean la luz solar, reducen los niveles de oxígeno disuelto y desplazan a la vegetación nativa [2].

A pesar de estos impactos negativos, el lirio acuático posee una notable capacidad para la fitorremediación, específicamente a través del proceso de fitoextracción. En este proceso, el lirio absorbe el cromo hexavalente a través de sus raíces y lo acumula en sus tejidos. Sus raíces extensas y densas actúan como un filtro natural, atrapando y absorbiendo los contaminantes presentes en el agua [7]. Además, el lirio acuático puede contribuir a la fitodegradación, proceso en el cual las plantas transforman contaminantes en formas menos tóxicas. En el caso del cromo hexavalente, esto implica su reducción a cromo trivalente (Cr(III)), que es menos soluble y tóxico [8].

En la Figura 1 se muestran los diferentes tipos de fitorremediación. La figura ilustra cómo el lirio acuático puede utilizarse en estos procesos, destacando la fitoinmovilización y fitoestabilización. En resumen, el lirio acuático tiene la capacidad de absorber y transformar el cromo hexavalente en una forma menos tóxica, ofreciendo una solución potencial para la descontaminación del Lago de Yuriria.

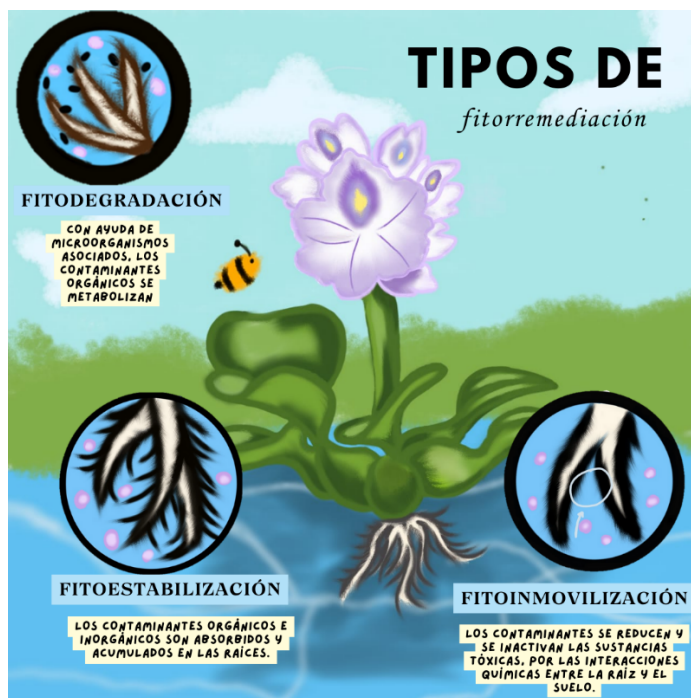


Figura 1. Diferentes tipos de fitorremediación.

Tomando en cuenta trabajos previos [9], en el presente estudio se propone investigar las condiciones óptimas de crecimiento del lirio acuático, analizando factores como el pH, la temperatura, la concentración de nitratos y la dureza del agua. Asimismo, se realizó un análisis de su capacidad fitorremediadora, estudiando el efecto de diferentes concentraciones y tiempos. Considerando que una gran cantidad de trabajos actuales se enfocan en la remoción de metales como Ni, As, entre otros, se tomó al cromo como especie a estudiar, esto debido a que también es uno de los principales contaminantes en el estado de Guanajuato por la industria curtidora [10].

Sin embargo, muchos de estos estudios no muestran una reproducibilidad consistente en las condiciones experimentales, variando las concentraciones, el tiempo de contacto y el tipo de lirio acuático utilizado; por lo que es necesario continuar evaluando la capacidad del lirio acuático como especie fitorremediadora bajo condiciones controladas y reproducibles.

Por lo anterior, en el presente trabajo se propone evaluar la viabilidad del lirio acuático como una solución sostenible para la fitorremediación del cromo hexavalente en la Laguna de Yuriria. En una primera etapa, se estudian las variables de crecimiento de la especie vegetal, pH, dureza del agua, temperatura, concentraciones de nitratos y el tipo de agua de contacto para obtener las condiciones de crecimiento óptimas

en las que el lirio acuático puede crecer. En la segunda etapa, se evalúa la capacidad fitorremediadora en una solución de $K_2Cr_2O_7$ a 19 ppm, en dos tiempos de contacto con el lirio acuático: 4 hrs y 120 hrs.

2. Metodología

1. Recolección de Muestras.

Se recolectaron seis ejemplares de *Eichhornia crassipes* y tres litros de agua del río Huahuemba, ubicado en la ciudad de Uriangato, el cual tiene contacto directo con varios sistemas acuáticos como el lago de Cuitzeo, las presas de Moroleón y la laguna de Yuriria.

2. Caracterización del agua en contacto con el lirio acuático.

Se seleccionaron cuatro ejemplares de *Eichhornia crassipes* en etapa joven, que aún no presentaban flores. Posteriormente se prepararon tres soluciones de $K_2Cr_2O_7$ a 19 ppm utilizando agua del lugar de recolección del lirio, agua desionizada y agua corriente del municipio de Guanajuato. Cada ejemplar se mantuvo en contacto con los diferentes tipos de agua y un ejemplar como control. Se realizó un análisis de las variables que influyen en el crecimiento del lirio acuático, como se detalla a continuación:

2.1 Medición de pH.

El pH del agua del río, agua desionizada, agua corriente y del control se midió cada 24 hrs con un potenciómetro HANNA instruments.

2.2 Temperatura.

La temperatura y el porcentaje de humedad ambiental se midieron con un termómetro digital de la marca ThermoPro. Las temperaturas de cada tipo de agua se midieron con un termómetro de vidrio BRANNA. Todas las mediciones se realizaron cada 24 hrs.

2.3 Concentración de nitratos.

Para medir la concentración de nitratos se utilizaron test de NO_3 y NO_2 de la marca AZOO. Se recolectaron muestras de cada tipo de agua cada 24 hrs en un periodo de 5 días; posteriormente se les adicionó la prueba correspondiente y se observó la coloración.

2.4 Evaluación de dureza del agua.

La dureza se midió por triplicado para cada tipo de agua, del día cero y al tercer día. A cada muestra se adiciona 1 mL de buffer. Posteriormente, se realizaron titulaciones ácido-base utilizando como indicador Negro de Ericromo al 5% y el titulante EDTA, Sal Disódica, Dihidrato, 0.1M J.T.Baker.

3. Evaluación del lirio acuático como especie fitorremediadora.

Durante el trabajo en el laboratorio se observó y planteó realizar dos pruebas diferentes para determinar el tipo de agua que mejor conservaba la especie vegetal con la solución de $K_2Cr_2O_7$ a 19 ppm, evaluando así la capacidad del lirio para fitorremediar.

3.1 Evaluación de absorción en agua corriente cada 24 horas.

A uno de los ejemplares del lirio acuático en agua corriente se puso en contacto con una solución de $K_2Cr_2O_7$ a 19 ppm. Cada 24 hrs, durante un lapso de cinco días, se midió el pH, la temperatura, la humedad ambiental y se tomaron muestras para su análisis proe espectrofotometría UV-Vis.

3.2 Evaluación de absorción en agua corriente cada 30 minutos en un periodo de 4 horas.

En este apartado, se siguió la misma metodología que en la sección 4.1, para un ejemplar de lirio acuático tomando muestras cada 30 min por un periodo de 4 hrs.

4. Caracterización por UV-Vis

Para el análisis por medio de espectroscopia UV-Vis, se prepararon estándares de $K_2Cr_2O_7$ a diferentes concentraciones y pH 1.5, utilizando agua desionizada y H_2SO_4 (0.1 M) (KEM, 99%). Posteriormente se añadieron 2 mL de disolución de 1,5-difenilcarbazida al 0.5% (P/V) (marca JALMEK), se mezcló y se dejó reposar 10 minutos para desarrollar el color. Finalmente se leyeron las muestras en un espectrofotómetro visible de marca Fencia (con un rango de trabajo de 350-1020 nm), se ajustó con el blanco y se midió a una longitud de onda de 540 nm.

Para la medición de las muestras tomadas en la capacidad de la especie fitorremediadora, a cada vial se le agregó H_2SO_4 y la solución de 1,5-difenilcarbazida para su posterior lectura en el espectrofotómetro visible.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización del agua corriente, de la laguna y desionizada en contacto con el lirio acuático.

Para un desarrollo óptimo, el lirio acuático requiere un pH entre 6 y 8, y temperaturas entre 25 y 27.5 °C

【1】 Como se observa en la Tabla 1, el pH promedio durante los experimentos fue de 7.84 y la temperatura promedio fue de 22.2°C. Comparado con lo reportado en la bibliografía el agua más adecuada para su crecimiento es la corriente.

Tabla 1. Parámetros de pH, temperatura, humedad y peso en los diferentes tipos de agua

Muestra	Día	pH	temperatura	Humedad	peso
Corriente	0	8.1	22°C	56%	98g
Laguna		7.6	22°C		82g
Desionizada		7	22°C		97g
Corriente	1	7.5	23°C	56%	96g
Laguna		7.8	22°C		82g
Desionizada		6.8	23°C		94g
Control		7.68	23°C		64g
Corriente	2	7.7	22°C	56%	94g
Laguna		8	22°C		82g
Desionizada		9.9	22°C		80g
Control		7.8	22°C		60g
Corriente	3	8	21°C	54%	96g
Laguna		8.2	21°C		78g
Desionizada		8	24°C		76g
Control		8	21°C		64g
Corriente	4	8.5	25°C	53%	97g
Laguna		8.6	25°C		80g
Desionizada		8.2	25°C		78g
Control		8	25°C		64g

Para el ejemplar en agua de lugar de recolección, los valores de temperatura y humedad fueron muy cercanos a los ideales encontrados en bibliografía. En cuanto al pH, los ejemplares vegetales en agua del lugar de recolección y el control mantuvieron valores próximos a los ideales para su desarrollo óptimo. Sin embargo, los que estaban en agua desionizada y agua corriente mostraron variaciones significativas en sus valores, lo que resultó en marchitez en las hojas (Figura 2) y una absorción más rápida del agua (Figura 3).



Figura 2. De izquierda a derecha, ejemplares vegetales en agua desionizada, agua del lugar de recolección, agua corriente y el control. Fotografía A, lirios acuáticos día 0. Fotografía B, lirios acuáticos día 2. Fotografía C, lirios acuáticos día 5.

Los lirios acuáticos presentaron tallos, raíces y hojas totalmente verdes y saludables en el día 0, pero conforme pasó el tiempo, en los ejemplares que permanecieron en agua corriente y agua desionizada se notaron cambios en las hojas, pues se empezaban a marchitar y cambiar su coloración a tonos cafés. Obteniendo así en el último día, que la mejor opción para mantener el lirio y que al mismo tiempo lleve a cabo la fitorremediación, es en condiciones del agua corriente de Guanajuato.



Figura 3. De izquierda a derecha, ejemplares vegetales en agua desionizada, agua del lugar de recolección, agua corriente y el control. Fotografía A, día 0, volumen inicial de 200ml. Fotografía B, volumen del agua día 1. Fotografía C, volumen de agua día 5.

3.2 Evaluación del lirio acuático como especie fitorremediadora.

En base a los resultados anteriores, se eligió el agua corriente como la mejor opción para medir la capacidad de fitorremediación del lirio acuático. En comparación con los ejemplares que se encontraban en agua desionizada y en agua de la laguna, el que se encontraba en agua corriente fue el que presentó una mayor absorción del agua en cuestión de tiempo y cantidad y se mantuvo viable durante la misma cantidad de días que los demás, a pesar de presentar marchitez. Por lo que, se realizó una evaluación de la cinética de absorción en el agua corriente para un ejemplar del lirio acuático, tomando muestras cada 24 hrs en un periodo de 120 hrs.

El primer día, la absorbancia observada es alta, indicando que la muestra es fresca y la concentración de $K_2Cr_2O_7$ es alta. Después de horas, la absorbancia disminuye a 18.8209, esto se debe a que el lirio absorbe $K_2Cr_2O_7$ gradualmente. Esto continúa hasta el día 3, donde podemos observar un aumento de absorbancia. El aumento puede deberse a errores experimentales o a una posible reacción secundaria que aumentó la absorbancia. Sin embargo, no parece afectar significativamente la concentración, ya que finalmente, en el día 4, baja a 14.9201 ppm, alineándose con la tendencia general de la disminución observada en los primeros dos días.

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para esta cinética de absorción, donde se puede observar que al día 5 se llegó a una concentración cercana a las 15 ppm, obteniendo un porcentaje de remoción del

romo de 26.82%. La especie aún no presenta saturación de cromo al día 5, y, a concentraciones pequeñas, tiene una acción fitorremediadora lenta. Por lo tanto, resulta interesante continuar con la evaluación a estas concentraciones en tiempos más prolongados.

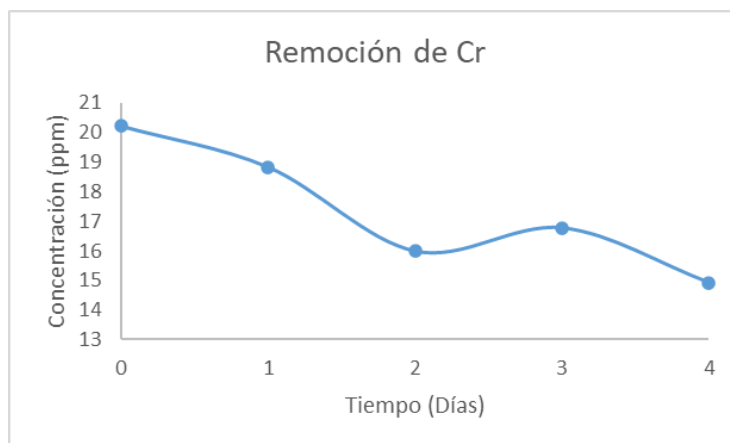


Figura 4. Cinética de absorción del cromo en muestras recolectadas cada 24 horas durante cinco días en agua corriente.

En la Figura 5, se presentan los resultados obtenidos en la cinética absorción en el periodo de 4 hrs, tomando muestras cada 30 min. En este análisis se observa una remoción de 26.18% en la solución de $K_2Cr_2O_7$, la falta de linealidad en los resultados puede sugerir que las muestras pudieron verse afectadas por sedimentación del $K_2Cr_2O_7$ presente en la solución que pudo introducir pequeños errores además de la toma de muestra a diferentes alturas del nivel de solución que podría contener pequeñas variaciones en la concentración de $K_2Cr_2O_7$.



Figura 5. Cinética de absorción del cromo las muestras obtenidas cada 30 minutos durante 4 horas, en agua corriente.

Finalmente se realizaron mediciones de pH, temperatura, humedad y peso del ejemplar vegetal que se estudió cada 24 hrs, los resultados se muestran en la Tabla 2 para observar si existía relación con la capacidad de absorción del cromo obtenida. Los valores obtenidos de pH, temperatura y humedad no mostraron variaciones significativas y se mantuvieron dentro del rango óptimo para el desarrollo de la especie. En cuanto al peso de los lirios, se observó un aumento progresivo y al final una disminución, lo que se relaciona con la capacidad de absorción de las raíces de esta especie, como se observó un aumento progresivo y al final una disminución, lo que se relaciona con la capacidad de absorción de las raíces de esta especie, como se observó en la Figura 4.

Tabla 2. Medición de pH, temperatura, humedad y peso del ejemplar vegetal en agua corriente cada 24 horas.

Muestra	Día	pH	temperatura	Humedad	Peso
Corriente	0	6.8	22°C	56%	94g
Control		8	22°C		60g
Corriente	1	7.8	21°C	55%	96g
Control		7.8	21°C		60g
Corriente	2	7.9	22°C	45%	98g
Control		7.8	22°C		62g
Corriente	3	8	22°C	54%	98g
Control		8	22°C		62g
Corriente	4	8.2	24°C	50%	94g
Control		8.1	24°C		58g

Conclusión

Los resultados obtenidos indican que la absorción de cromo hexavalente por medio de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) puede llevar a cabo de manera eficiente bajo condiciones pH, concentración de nitratos, dureza del agua, tipo de agua y porcentaje de humedad establecidos. El aumento de peso de las plantas sugiere una efectiva absorción de cromo en el agua, permitiendo que continúen desarrollándose con el tiempo. Esto resulta beneficioso para el cuerpo acuífero, ya que la captación de cromo, un metal pesado, mejora la calidad del agua. Aunque la especie (*Eichhornia crassipes*) es una especie invasora y se encuentra en exceso en la zona, su capacidad para absorber cromo hexavalente la convierte en una herramienta valiosa para el tratamiento del agua presente en el cuerpo acuífero.

El lirio presente en la laguna de Yuridia nos muestra que puede realizar la fitorremediación en las condiciones que se encuentra, consiguiendo observar su eficiencia y se vio en análisis como el lirio puede absorber el cromo hexavalente en condiciones óptimas.

Bibliografía/Referencias

- [1] Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2022). *Lirio acuático (Eichhornia crassipes): una revisión 1*. <https://www.redalyc.org/journal/437/43768481006/html/>
- [2] Editor Web. (2023, 25 enero). Descuido y abandono dejan a la Laguna de Yuriria a merced de la sobreexplotación. Periódico Correo. <https://periodicocorreo.com.mx/descuido-y-abandono-dejan-a-la-laguna-de-yuriria-a-merced-de-la-sobreexplotacion/>

- [3] Gobierno de Guanajuato. (s. f.). Laguna de Yuriria y su Zona de Influencia. Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato. Recuperado 19 de junio de 2024, de <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protégidas/10/Laguna-de-Yuriria-y-su-Zona-de-Influencia>
- [4] MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. (2019, 14 noviembre). Diario Oficial de la Federación. Recuperado 19 de junio de 2024, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019
- [5] Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), 43-47. <https://doi.org/10.29057/h.v4i1.8630>
- [6] González Arévalo, A. L. (2021). La contaminación por desechos industriales en la Laguna de Yuriria, ubicada en la Región Centro de México.
- [7] Tocto, R. y. A., Ordoñez, E. C., Rascón, J., & Silva, R. C. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable/Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable*, 2(3), 48. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.403><https://doi.org/10.25127/aps.20183.403>
- [8] Tapia, J., Freer, J., Mansilla, H., Villaseñor, J., Bruhn, C., & Basualto, S. (2002). ESTUDIO DE REDUCCIÓN FOTOCATALIZADA DE CROMO HEXAVALENTE. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(4). <https://doi.org/10.4067/s0366-16442002000400018><https://doi.org/10.4067/s0366-16442002000400018>
- [9] Guerra, G. M. G., & Del Carmen Bárcenas Grangeno, M. (2023, 15 diciembre). EVALUACIÓN DE LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* PARA SU POSIBLE APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DEL CROMO HEXAVALENTE. González Guerra | *Naturaleza y Tecnología*. <http://www.naturalezaytecnologia.ugto.mx/index.php/nyt/article/view/521>
- [10] Odjegba, V. J., & Fasidi, I. O. (2007). Phytoremediation of heavy metals by *Eichhornia crassipes*. *The Environmentalist*, 27(3), 349-355. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9047-2>